

Diseño de cimentaciones directas para grúas torre en edificación

Rodríguez Morales, Sergio

Dpto. Tecnología de la
Edificación, UPM

SSTT FCC Construcción,
Dpto. Estructuras de Edificación

s.rodriguez@upm.es

RESUMEN

Los puntos principales a tener en cuenta en el diseño o comprobación de una cimentación directa para una grúa torre convencional, son tratados en el presente artículo. Aspectos tales como las acciones a considerar en el cálculo del elemento, las comprobaciones frente a la estabilidad del conjunto cimiento-torre, la transmisión de presiones al terreno o el dimensionado de las armaduras de refuerzo, serán objeto de desarrollo en este documento. El escrito pretende servir de guía a los técnicos que se enfrenten al diseño de una cimentación de estas características, aportando herramientas de cálculo, recursos técnicos y bibliografía al respecto.

ABSTRACT

The main aspects to be considered in the design of crane tower foundation are presentes in the following article. Loads due crane operations needed for structural analysis, crane-foundation stability checkings, pressure transmitted to soil by foundation or reinforcement design criterias shall be apointed in this document. The aim of the article is to be useful for beginners engineers who must face a crane foundation design, providing them analysis tools, technical skills and related code and bibliography.

Palabras clave – Grúa torre, diseño, cimentación superficial, presiones, estabilidad.

Keywords – Crane tower, structural design, spread footing, soil pressures, stability checking.

Índice

1. Introducción

2. Datos previos

2.1. Informe Geotécnico

2.2. Acciones transmitidas por la grúa torre

2.3. Elemento de anclaje o “empotre”

3. Diseño y/o comprobación

3.1. Estabilidad vertical. Tratamiento lineal y de Área equivalente en la transmisión de presiones del cimiento al suelo.

3.2. Estabilidad frente al Vuelco y al deslizamiento

3.3. Dimensionado de las armaduras de refuerzo en el cimiento

4. Conclusiones

1. Introducción

Las grúas torres son uno de los medios auxiliares más empleados en cualquier obra de edificación. Su aparición comienza con la ejecución de la cimentación del edificio y es utilizada prácticamente hasta la finalización de la obra de albañilería, es decir una vez se hayan ejecutado las fachadas y las divisiones interiores. Es habitual una vez iniciada la construcción, que los responsables técnicos de la misma reclamen que su puesta en marcha se realice lo antes posible, ya que su uso es sinónimo de que la obra adquiere ritmo y ha entrado en producción.

Al ser una maquinaria de origen industrial existen muchas normativas y especificaciones que rigen aspectos tales como su diseño, operatividad o mantenimiento. A estos requisitos ligados a cualquier material industrial, hay que añadir además, la normativa específica a cumplir en materia de seguridad y salud.

No obstante, en lo que concierne al diseño de la cimentación de este tipo de maquinaria no se encuentran ni referencias, ni limitaciones de diseño, más allá de cumplir los mínimos requisitos que se le podrían exigir cualquier tipo de cimiento, como son los de no superar la tensión admisible del terreno y cumplir la normativa de hormigón en vigor. A este respecto hay que recordar que el usuario de la grúa torre es el único responsable del correcto diseño y ejecución de la cimentación del equipo, es decir, de la correcta definición del cimiento y de la idoneidad del suelo situado bajo este para soportar cargas las transmitidas por la grúa.

El presente artículo tiene como objeto recoger y reflexionar cuáles son los principales pasos a seguir en el diseño o en la comprobación de la cimentación superficial de una grúa torre, ya que de las dimensiones obtenidas en el cálculo depende en gran medida la estabilidad del conjunto grúa-cimiento. A este respecto se recuerda que la grúa es un equipo con movimiento circular en torno a su eje vertical que induce cargas cíclicas a la cimentación y por lo tanto al suelo.

La concepción de este tipo de cimentaciones tiene una serie de particularidades que como se verá a continuación, otorgan a estos elementos estructurales un peso específico propio dentro del conjunto de cimentaciones empleados habitualmente en obras de edificación.

2. Datos previos

Antes del diseño de cualquier cimentación es imprescindible conocer como mínimo, los datos y parámetros que se citan a continuación.

2.1. Informe Geotécnico

A la hora de diseñar una cimentación es necesario conocer la naturaleza y características geotécnicas del terreno donde esta vaya a ser implantada. El informe geotécnico es el documento elaborado por especialistas en el terreno y que basado en ensayos de campo y correlaciones empíricas, aportará los siguientes datos con los que cualquier cimentación debería ser diseñada:

- Cota de apoyo. El cimiento deberá apoyar en terreno natural y nunca en un relleno. A este respecto se define a un relleno como a aquel suelo de escasa capacidad portante y elevada deformabilidad que puede provocar asentamientos inadmisibles para cualquier estructura. Si la potencia de relleno es elevada y no es posible el apoyo en el terreno natural se deberá emplear una cimentación profunda, como pilotes, módulos de pantalla o micropilotes.

- **Carga de hundimiento del terreno (Q_{HUN}).** La presión transmitida al terreno por la cimentación no deberá superar el cociente entre la carga de hundimiento y el coeficiente de seguridad. Dicho cociente habitualmente se denomina tensión admisible (Q_{ADM}). Existen varias formulaciones para la obtención de la carga de hundimiento, estas son función habitualmente de la naturaleza del terreno (suelos granulares o cohesivos) o de los ensayos de campo realizados, entre otros factores. Se recogen a continuación tres de las expresiones más frecuentemente empleadas para determinar la carga de hundimiento en una zapata. Las dos primeras aportan valores de carga de hundimiento, no afectadas por el coeficiente de seguridad, mientras que la tercera ecuación proporciona un valor de carga admisible o con seguridad:

La ecuación de Brinch-Hansen, obtenida de la Guía de cimentación obras de carretera:

$$P_{vh} = q \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot s_q \cdot t_q \cdot r_q + c \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot s_c \cdot t_c \cdot r_c + \frac{1}{2} \cdot g \cdot B^* \cdot N_g \cdot d_g \cdot i_g \cdot s_g \cdot t_g \cdot r_g \quad (1)$$

La ecuación polinómica de Terzaghi para zapatas cuadradas:

$$Q_u = 1.3 \cdot c \cdot N_c + g \cdot D \cdot N_q + 0.4 \cdot g \cdot B \cdot N_g \quad (2)$$

La ecuación de Terzaghi-Peck para suelos granulares, recogida del CTE-DB-SE-Cimientos en su artículo 4.3.3.:

$$B^* \geq 1.2 \text{ _m} \quad (3)$$

$$Q_{adm} = 8 \cdot N_{SPT} \cdot \left(1 + \frac{D}{3 \cdot B^*}\right) \cdot \left(\frac{S_f}{25}\right) \cdot \left(\frac{B^* + 0.3}{B^*}\right)^2 - KPa$$

Si bien las ecuaciones arriba indicadas son las expresiones generales y su empleo es de carácter obligado en fase de proyecto, cabe señalar algunas expresiones simplificadas y equivalentes a las anteriores que pueden emplearse en fases de comprobación y predimensionado:

En suelos arenosos con ensayo SPT, la tensión admisible puede ser obtenida mediante la siguiente expresión:

$$Q_{ADM} = 10 \cdot N_{SPT} \text{ _KPa} \quad (4)$$

Donde la variable N_{SPT} representa el número de golpes del SPT para un avance de 30 cm.

En suelos arcillosos y si se cuenta con un ensayo de resistencia a compresión simple la tensión admisible del terreno puede alcanzar el siguiente valor:

$$Q_{ADM} = 1000 \cdot R_u \text{ _KPa} \quad (5)$$

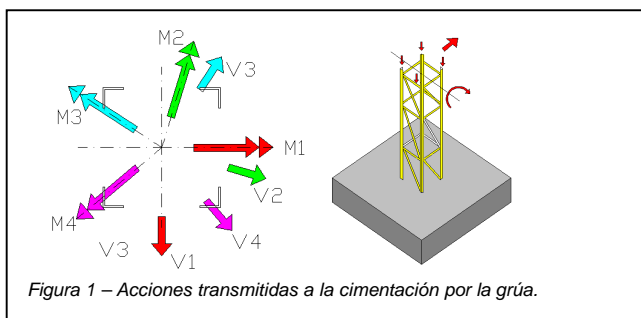
Donde la variable R_u es el valor de resistencia a compresión simple del suelo expresada en MPa.

Con referencia al coeficiente de seguridad a adoptar el CTE-DB-SE-Cimientos en su tabla 2.1 especifica un valor igual a 3. El efecto cíclico debido al movimiento de la grúa aconseja adoptar valores algo superiores como por ejemplo 3.5, aunque en la bibliografía consultada no se ha encontrado ninguna referencia al respecto.

- Parámetros de corte del terreno (ϕ y C_k). La cohesión (C_k) y el ángulo de rozamiento interno del terreno (ϕ) que se sitúa inmediatamente por debajo de la zapata, son necesarios para la comprobación de estabilidad frente a deslizamiento que posteriormente se definirá. A modo de introducción diremos que dichos parámetros definen el coeficiente de rozamiento entre cemento-terreno.

2.2. Acciones transmitidas por la grúa torre

Las acciones a considerar en el diseño de una grúa torre incluyen el peso propio de sus componentes, las cargas de operación y la acción del viento. Como consecuencia de la envolvente pésima de todas estas acciones, a nivel del arranque de la grúa aparecen unas reacciones máximas que deben ser resistidas y convenientemente transferidas al terreno por la cimentación. El fabricante de la grúa debe proporcionar para el diseño de la cimentación una terna de esfuerzos: un axil (N), un cortante (V) y un momento flector (M). Debido al movimiento circular de la pluma de la grúa el cortante y el momento flector pueden actuar cualquier dirección sobre la cimentación.



Las solicitaciones transmitidas por la grúa torre se caracterizan por un momento flector de magnitud elevada frente a la sollicitación axil y cortante, de valores algo más moderados. Dichas sollicitaciones describen a la grúa torre, una maquinaria ligera, afectada en gran medida por la acción del viento y por la excentricidad que originan el movimiento de las cargas, cuya única vinculación exterior es el empotramiento en la cimentación. A este respecto ilustraremos este concepto con un ejemplo numérico. Para ello emplearemos los datos suministrados por el Departamento Técnico de la empresa Liebherr para una grúa torre modelo 90 EC-B /100 LCA:

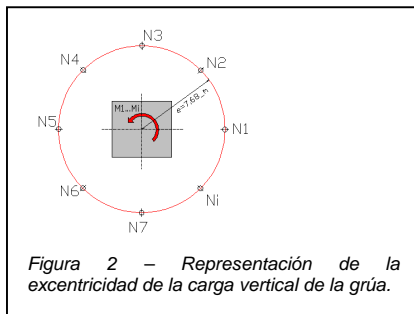
$$M = 2918 \text{ _mKN}$$

$$V = 76 \text{ _KN}$$

$$N = 380 \text{ _KN}$$

Si obtenemos la excentricidad que implica dicho momento, podemos decir que la resultante de cargas verticales en este modelo de grúa puede estar situado a la siguiente distancia desde el eje del mástil:

$$e = \frac{M}{N} = \frac{2918}{380} = 7.68 \text{ _m}$$



2.3. Elemento de anclaje o “empotre”

A parte de las reacciones de la torre a nivel de cimentación el fabricante de la grúa también debe suministrar el denominado elemento de anclaje a la cimentación. Este elemento es un bastidor metálico cuya finalidad es la de servir de conexión con el resto de módulos que forman la grúa, y la de transmitir al cimiento los esfuerzos obtenidos en el apartado anterior. La geometría de estas unidades queda especificada por el suministrador, por lo que las dimensiones de la zapata no pueden ser ajenas a tales datos. A si por ejemplo, el canto de la zapata a diseñar depende en gran medida de la longitud del empotre.

Una posible forma de determinar que acciones provoca la grúa sobre el plano superior de la cimentación es del obviar la forma de trabajo en celosía del mástil, y repartir de forma elástica la terna de esfuerzos entre sus cuatro cordones verticales. En relación a este tema y ya que la grúa puede operar en cualquier dirección cabe estudiar la situación en torno a dos ejes, uno paralelo a dos de los lados del mástil y otro que transcurra a través de la diagonal:

Eje ortogonal (Figura 3):

Axiles en cordones comprimidos:

$$C = \frac{N}{4} + \frac{Mx}{2 \cdot Z} \quad (6)$$

Axiles en Cordones traccionados:

$$T = \frac{N}{4} - \frac{Mx}{2 \cdot z} \quad (7)$$

Cortante en cada cordón:

$$V = V_y / 4 \quad (8)$$

Utilizando las cargas mencionadas en el apartado anterior, ejemplificaremos qué solicitaciones de compresión y de tracción transmiten los cordones del mástil a la cimentación, sabiendo que la distancia entre estos es de 1680 mm, cuando la pluma de la grúa actúa en dirección perpendicular a una de las caras de la zapata:

$$C = \frac{N}{4} + \frac{Mx}{2 \cdot z} = \frac{380}{4} + \frac{2918}{2 \cdot 1.68} = 963 \text{ _KN}$$

(Compresión _en _cada _cordón)

$$T = \frac{N}{4} - \frac{Mx}{2 \cdot z} = \frac{380}{4} - \frac{2918}{2 \cdot 1.68} = -849 \text{ _KN}$$

(Tracción _en _cada _cordón)

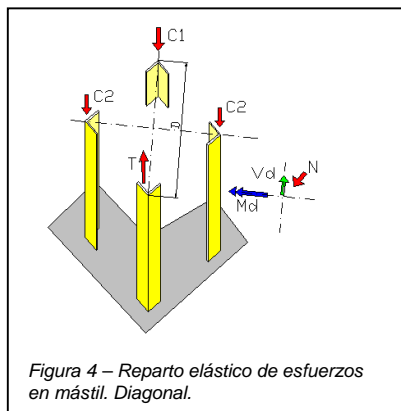
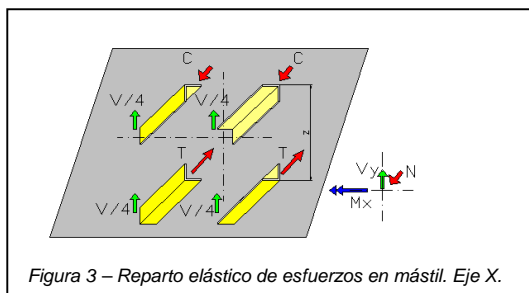
Eje diagonal (Figura 4):

Axil en cordón más comprimido:

$$C_1 = \frac{N}{4} + \frac{Md}{D} \quad (9)$$

Axiles en cordones sobre diagonal:

$$C_2 = N / 4 \quad (10)$$



Axil en Cordón más traccionado:

$$T = \frac{N}{4} - \frac{Md}{D} \quad (11)$$

Cortante en cada cordón:

$$V = Vd / 4 \quad (8)$$

Al igual que en el caso del eje ortogonal, si empleamos los mismos valores de reacción de la grúa esta vez en torno a la diagonal, obtendremos los siguientes esfuerzos en los cordones:

$$C_1 = \frac{N}{4} + \frac{Md}{D} = \frac{380}{4} + \frac{2918}{\sqrt{2} \cdot 1.68} = 1323 \text{ _KN}$$

(Cordón _Más _comprimido)

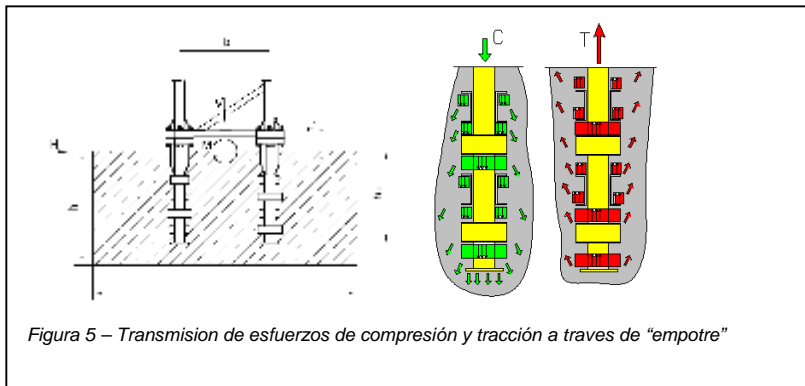
$$C_2 = \frac{N}{4} = \frac{380}{4} = 95 \text{ _KN _}(Cordones \text{ _menos _comprimidos})$$

$$T = \frac{N}{4} - \frac{Md}{D} = \frac{380}{4} - \frac{2918}{\sqrt{2} \cdot 1.68} = -1133 \text{ _KN}$$

(Cordón _Más _Traccionado)

La tracción mayor se obtiene tras aplicar el momento flector sobre la diagonal, alcanzándose un valor en servicio de 1133 KN, con respecto al valor de 849 KN en tracción obtenido en el caso de eje ortogonal.

La transmisión de esfuerzos de compresión y tracción desde los cordones del empotre al hormigón de la cimentación se mejora mediante el empleo de casquillos soldados tipo UPN en las dos direcciones. La función principal de estos dispositivos es la de evitar el arrancamiento del hormigón de los cordones sujetos a tracción y favorecer la entrada de compresiones desde la parte más superior del cimientto. Es Conveniente conocer la situación de tales casquillos de cara a colocar de la forma más efectiva la armadura de refuerzo local en torno al empotre de la grúa.

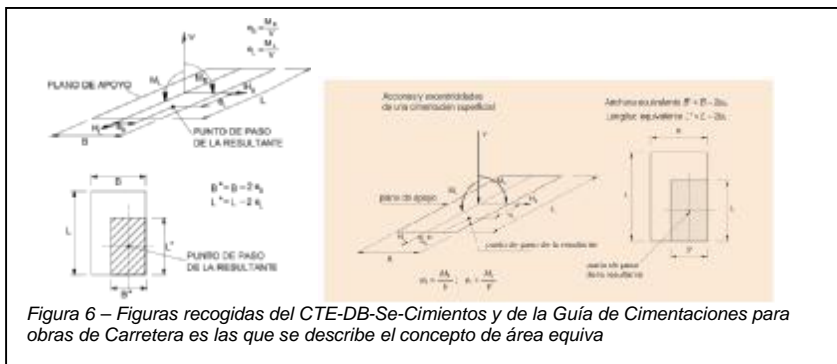


3. Diseño y/o comprobación

3.1. Estabilidad vertical. Tratamiento lineal y de Área equivalente en la transmisión de presiones del cimiento al suelo.

Existen dos procedimientos para estimar analíticamente la presión transmitida al terreno por la cimentación. El primero de ellos es considerar que existe una respuesta elástica y lineal del suelo bajo el cimiento, donde los asentamientos son directamente proporcionales a los valores de presión transmitidos. El segundo procedimiento consiste en suponer un comportamiento plástico del terreno, por el que se acepta que una vez el suelo ha alcanzado un determinado valor límite (la tensión admisible Q_{adm}) este plastifica hasta alcanzar el equilibrio con las fuerzas exteriores, lo que implica una presión constante actuante sobre un área equivalente.

La normativa en vigor en nuestro país en materia de cimentaciones establece como procedimiento a emplear para la estimación de presiones transmitidas al terreno por una zapata el método del área equivalente, el cual consiste en suponer que el punto de paso de la carga vertical en el plano de contacto entre el cimiento y el terreno, representa el centro de gravedad de la superficie eficaz capaz de transferir solo compresiones al suelo. Este concepto fue enunciado ya en los años cincuenta tanto por Meyerhoff, Hansen y Vesic. Las siguientes figuras obtenidas del CTE-DB-SE-Cimientos y de la Guía de Cimentaciones para Obras de Carretera ilustran este concepto:



Este método de cálculo aporta dos ventajas:

- Coherencia con las formulaciones geotécnicas recogidas en el apartado 2.1 del presente documento, ya que el concepto de área eficaz es el mismo que se emplea a la hora de determinar la carga de hundimiento de la zapata.
- Permite conocer de una forma rápida qué área de terreno debe ser movilizada para equilibrar las fuerzas verticales exteriores. Si la zapata es cuadrada o rectangular los lados del área equivalente serán paralelos a los lados del cimiento. Por el contrario si se supone una repuesta elástica del terreno y la resultante de fuerzas exteriores queda fuera del núcleo central de inercia, es necesario recurrir a soluciones tabuladas basadas en construcciones geométricas complejas que aportan la superficie comprimida y el valor de tensión en punta máximo transmitido por la zapata.

No obstante, cabe plantearse qué diferencias a efectos de capacidad de carga vertical existen entre las dos metodologías. Para ello se estudiará una zapata cuadrada solicitada con un momento flector aplicado sobre un eje ortogonal a uno de sus lados, que implique que la posición de la carga vertical quede fuera del núcleo central de inercia.

Método del Área eficaz (12)

$$c = \frac{a}{2} - e$$

$$a_{ef} = 2 \cdot c = 2 \cdot \left(\frac{a}{2} - e \right) = a - 2 \cdot e$$

$$A_{ef} = a \cdot (a - 2 \cdot e) = a^2 - 2 \cdot a \cdot e$$

$$si \ e > \frac{a}{6}$$

$$A_{ef} = a^2 - 2 \cdot a \cdot e = a^2 - 2 \cdot a \cdot \frac{a}{6} = a^2 - \frac{a^2}{3} = \frac{2 \cdot a^2}{3}$$

$$N_{ADM} = Q_{ADM} \cdot A_{ef} = Q_{ADM} \cdot \frac{2 \cdot a^2}{3}$$

Método elástico (13)

$$c = \frac{a}{2} - e$$

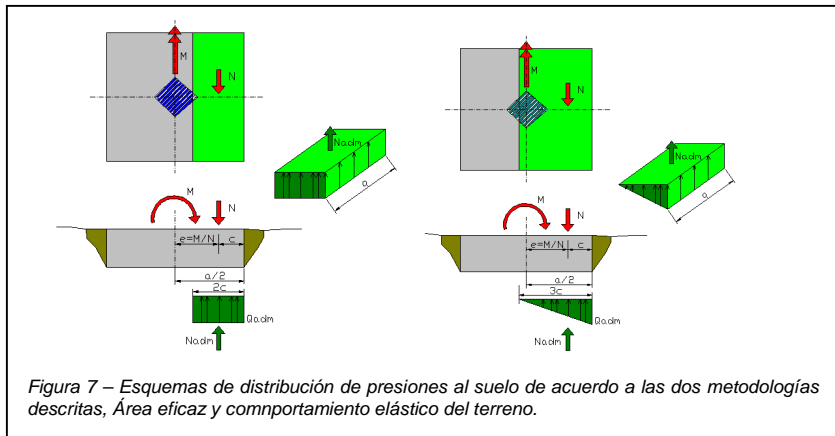
$$a_{ef} = 3 \cdot c = 3 \cdot \left(\frac{a}{2} - e \right)$$

$$A_{ef} = a \cdot 3 \cdot \left(\frac{a}{2} - e \right) = \frac{3 \cdot a^2}{2} - 3 \cdot a \cdot e$$

$$si \ e > \frac{a}{6}$$

$$A_{ef} = \frac{3 \cdot a^2}{2} - 3 \cdot a \cdot e = \frac{3}{2} \cdot a^2 - \frac{1}{2} \cdot a^2 = a^2$$

$$N_{ADM} = \frac{1}{2} \cdot Q_{ADM} \cdot A_{ef} = Q_{ADM} \cdot \frac{a^2}{2}$$



A la vista de lo anteriormente indicado, si bien el valor del área eficaz es inferior al área correspondiente al comportamiento elástico del terreno, no lo es así la capacidad de carga vertical ya que la resultante de compresiones debida al volumen de presiones generado en ambos casos es mayor en el caso plástico en el elástico (en torno al $(1-0.67/0.5)=33\%$ superior).

Si se emplea el método de las Áreas eficaces, cuando se dimensiona o se comprueba una cimentación cabe preguntarse en qué posición de la grúa, se alcanza la mayor presión transmitida al suelo, o lo que es equivalente, en qué punto el terreno aporta la mínima capacidad portante admisible. Este concepto se puede expresar de forma analítica con la siguiente expresión:

$$e_x = r \cdot \cos(a)$$

$$e_y = r \cdot \sin(a)$$

$$A_{ef} = a_{ef} \cdot b_{ef} = 4 \cdot \left(\frac{a}{2} - e_x \right) \cdot \left(\frac{b}{2} - e_y \right)$$

$$N_{ADM} = A_{ef} \cdot Q_{ADM} = 4 \cdot \left(\frac{a}{2} - e_x \right) \cdot \left(\frac{b}{2} - e_y \right) \cdot Q_{ADM}$$

$$N_{ADM} = 4 \cdot \left(\frac{a}{2} - r \cdot \cos(a) \right) \cdot \left(\frac{b}{2} - r \cdot \sin(a) \right) \cdot Q_{ADM}$$

(14)

La ecuación número 13 puede representarse de forma gráfica entre los ángulos 0° y 90° , observándose así la respuesta del terreno en el primer cuadrante. En el caso de una zapata cuadrada de lado 5 metros, un canto total de 1.60 metros, una tensión admisible del terreno de 350 KPa, y una grúa que transmite a la cimentación unos esfuerzos de valor $M = 2500$ mKN, $N = 250$ KN y $V = 64$ KN, la ecuación número 13 tiene la siguiente forma:

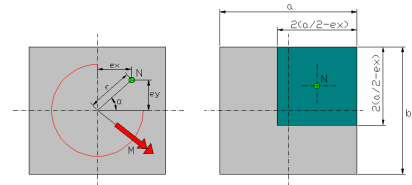


Figura 8 – Paso de coordenadas polares a cartesianas para determinación del CDG del Área eficaz

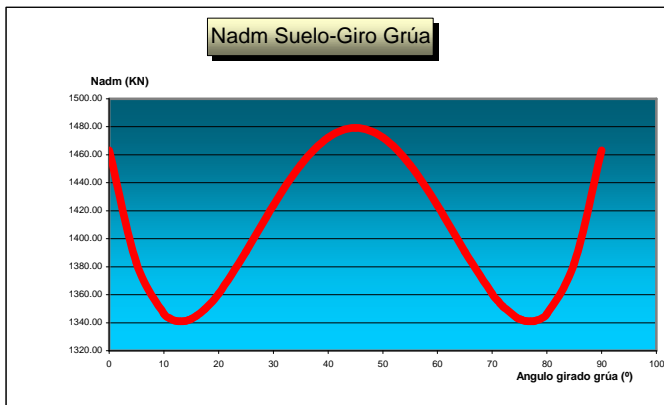


Figura 9 – Representación gráfica de la ecuación que representa la carga admisible de una cimentación de una grúa con respecto al giro de la misma.

De la gráfica se obtiene que para este caso en concreto, la mínima fuerza admisible aportada por el suelo se produce cuando el momento flector actúa con una inclinación aproximadamente de 13.5° y 76.5° con respecto al eje x. Por el contrario, la máxima aportación de terreno frente a carga vertical se producirá cuando el momento flector transmitido por el mástil actúe con una inclinación en planta próxima a los 45° con respecto a la horizontal.

3.2. Estabilidad frente al Vuelco y al deslizamiento

Las otras dos ideas que completan el concepto de equilibrio que el elemento cimiento-grúa debe cumplir, son las del deslizamiento y el vuelco. Pasamos a describir ambos conceptos.

Con respecto al deslizamiento existen dos mecanismos que se oponen a las fuerzas horizontales actuantes, ambos se movilizan en el plano de contacto entre el cimiento y el suelo. Estos son el rozamiento seco de Coulomb y la cohesión del terreno. De acuerdo al CTE en su apartado 6.3.3.2.3. la seguridad frente al deslizamiento de un cimiento puede expresarse de la siguiente manera:

Suelos arenosos (solo rozamiento):

$$V < \frac{N}{g_R} \cdot \tan\left(\frac{2}{3} f\right) \quad (15)$$

Suelos Cohesivos (Rozamiento más cohesión):

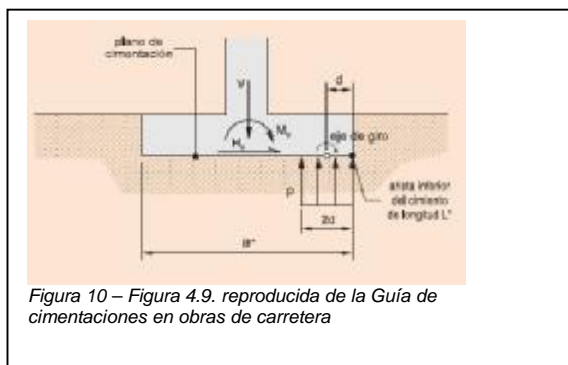
$$V < \left(N \cdot \tan\left(\frac{2}{3} f\right) + 0.5 \cdot c_k \cdot B \right) / g_R \quad (16)$$

En ambos casos el coeficiente de seguridad en situaciones persistente o transitoria exigido por la citada normativa será de 1.5.

En el caso del estudio de la zapata frente a vuelco se establece una relación entre los momentos estabilizadores y los momentos desestabilizadores o volcadores. En esta ocasión se empleará la expresión recogida en la Guía de Cimentaciones en su artículo 4.7. La cual presenta la siguiente forma:

$$F_v < \frac{M_{\text{estabilizadores}}}{M_{\text{volcadores}}} \quad (17)$$

Si se ha empleado el método de las áreas eficaces son varias las normativas que introducen el concepto de "vuelco plástico", el cual supone que el cimiento no es un sólido rígido, asumiendo una compatibilidad de deformaciones entre la zapata y el suelo plastificado. Este aspecto consiste en retranquear el eje de giro de la arista de la zapata desde donde se contabilizan habitualmente los momentos. Se pretende con ello reducir las presiones transmitidas al terreno una vez se alcance el valor teórico de vuelco. La siguiente figura obtenida de la guía de cimentaciones muestra la idea aquí transmitida:

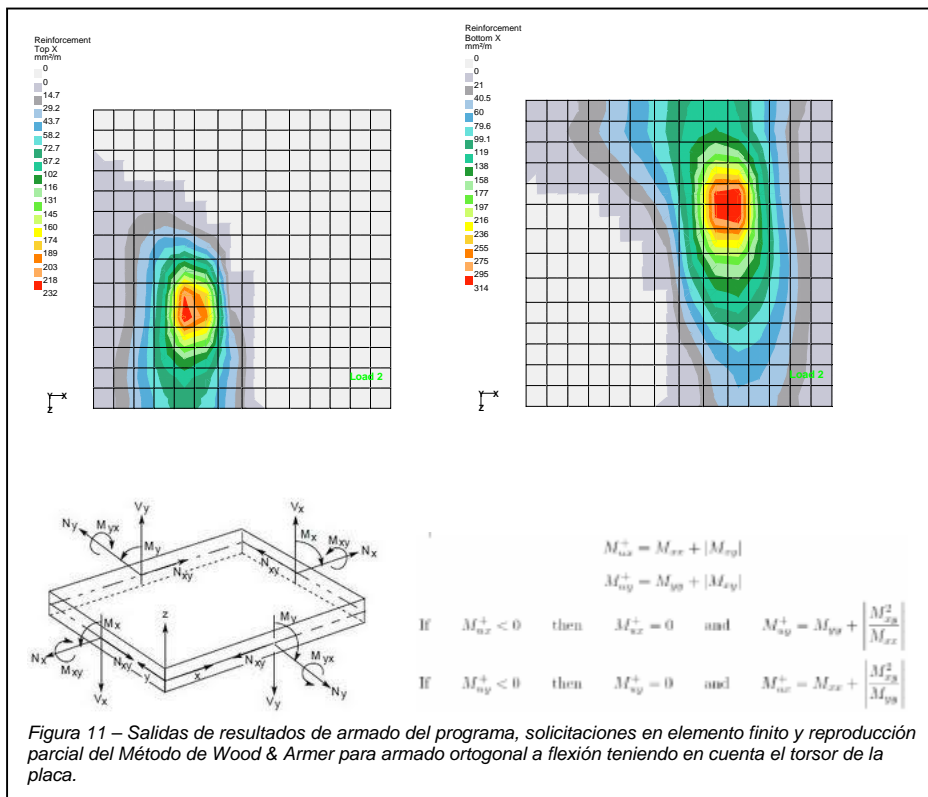


En la ecuación 16, F_v representa el coeficiente de seguridad al vuelco el cual en el CTE no debe ser inferior a 2 y en el caso de la Guía de Cimentaciones 1.50 si se considera el vuelco rígido.

3.3.Dimensionado de las armaduras de refuerzo en el cimiento

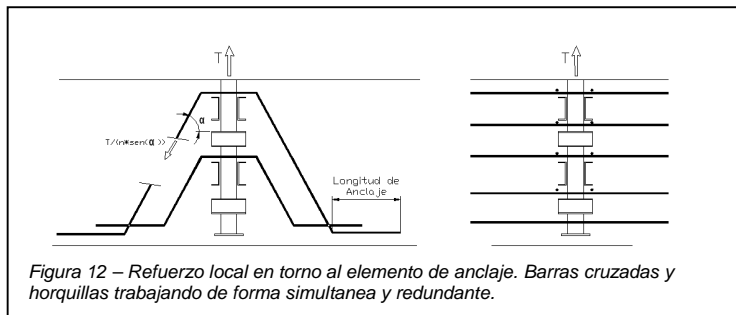
Una vez obtenidas las dimensiones del cimiento y habiéndose comprobado que con estas se cumplen las condiciones de estabilidad antes descritas, es necesario dimensionar la armadura de refuerzo general y el armado local en torno al elemento de anclaje.

El refuerzo general se obtendrá mediante un programa de estructuras que permita modelizar la cimentación por medio del Método de los Elementos Finitos (MEF). El programa también debe ser capaz de realizar un cálculo con no-linealidad geométrica en el que se pueda modelizar al suelo como un material capaz solo de resistir compresiones. A modo de ejemplo se modelizará la zapata y las acciones descritas en el apartado 3.1 de este artículo. El software empleado en este caso es Staad Pro de la Firma REI engineers. Las solicitaciones flectoras de cálculo para el dimensionado de la armadura deben ser obtenidas mediante el Método de Wood & Armer, el cuál está implementado en el mencionado programa.



Si se observan los diagramas de isovalores que representan las cuantías de armado a colocar en dirección X, el lector se percatará que es necesario colocar armadura en la cara superior de la zapata. Este aspecto es debido a que en el cálculo para la modelización de las acciones de la grúa, se han introducido el axil y flector de la grúa como tracciones y compresiones aplicados en los cordones del mástil, lo que implica la aparición de tracciones en la cara superior de la zapata.

En cuanto el refuerzo local ha de ser dimensionada para transferir de forma controlada los importantes y concentrados esfuerzos transmitidos por el elemento de anclaje, especialmente las tracciones. Para evitar el arrancamiento o “pull out” del empotre con respecto al macizo de hormigón es necesario recurrir a sistemas de armado tales como el empleo de horquillas que llevan las tracciones a la cara inferior de la zapata o el empleo de un emparrillado de barras longitudinales repartidas de forma homogénea a lo largo de la altura del empotre. A efectos de dotar de más seguridad a esta zona crítica ambos sistemas deben ser redundantes (o lo que es lo mismo, que la capacidad resistente de los dos mecanismos aporte más del 120% de la carga actuante), ya que los importantes cantos de estos cimientos permiten la colocación de la armadura sin problemas de congestión.



4. Conclusiones

Los principales aspectos a considerar en el diseño de la cimentación superficial para una grúa torre han sido tratados en el presente documento, que pasan a ser enumerados a modo de resumen a continuación:

- Disponer de un informe del suelo apropiado en el que se indiquen justificadamente los parámetros geotécnicos necesarios para enfrentarse al diseño de este tipo de cimentaciones.
- El suministrador de la grúa debe aportar las cargas transmitidas a la cimentación por el equipo (Momento, carga vertical y cortante), así como las dimensiones del elemento de anclaje o “empotre”.
- El usuario de la grúa es el responsable del buen diseño y ejecución de la cimentación.
- Debido a las características de la grúa torre, estructura ligera y grandes excentricidades, los cordones del mástil transmitirán importantes esfuerzos localizados a la cimentación, debiendo prestarse especial interés a los esfuerzos de tracción o comúnmente llamados “Tiro al hormigón”.
- En el diseño de la cimentación la normativa actual recomienda en empleo del área equivalente para estudiar la estabilidad vertical del conjunto, así como las comprobaciones frente a vuelco y deslizamiento una vez conocidos las dimensiones del cimiento. El momento flector transmitido por la grúa puede actuar en cualquier dirección por lo que será necesario buscar la en que posición esta condición es determinante.

- Con respecto al dimensionado de la armadura general se recomienda el empleo de programas de cálculo que permitan el diseño mediante la aplicación del Método de los elementos finitos y que tengan implementado el procedimiento de Wood and Armer para la obtención de cuantías de armado en direcciones ortogonales y paralelas a las caras del cimiento.
- Para dimensionar la armadura local en torno a los elementos de anclaje se deberá recurrir a varios mecanismos de refuerzo actuantes de forma simultánea para evitar el arrancamiento o “pull-out” desde el hormigón, tales como horquillas o barras horizontales a lo largo de la altura del cimiento.

Agradecimientos

El autor agradece muy especialmente la labor de D. Alfonso Cobo en este evento y en la necesaria modernización que se está llevando a cabo en la EUATM de la UPM.

Referencias Bibliográficas

Código Técnico de la Edificación. CTE-DB-SE-Cimientos. Ministerio de Fomento

Guía de cimentaciones en obras de carretera. Serie Monografías. Ministerio de Fomento.

“Foundation Analysis and Design”, Joshep E. Bowles, McGraw-Hill.

“The reinforcement of slabs in accordance with a pre-determined field of moments”, Concrete, February 1968, August 1968 (correspondence). R.H. Wood